

밑면에 균일 열유속이 존재하는 밀폐공간에서의 복사 — 자연대류열전달

권순석* · 권용일**

*동아대학교 공과대학 기계공학과

**동아대학교 대학원 기계공학과

Combined Radiation and Natural Convection Heat Transfer in an Enclosure with a Constant Heat Flux at the Bottom

Kwon, Sun-Sok · Kwon, Yong-Il

Dept. of Mechanical Engineering, Dong-A University

ABSTRACT

This investigation is carried out numerically for the two dimensional natural convection and surface radiation heat transfer in a square enclosure. The bottom wall is a constant heat flux at hot temperature and also top wall is isothermal at cold temperature whereas the left and right side walls are adiabatic except a transparent window on the right side partially.

The exchange of radiant energy is obtained by the net radiation method and the shape factor by the crossed string method.

The change in temperature and Nusselt number distributions of the walls due to the effect of the wall emissivity for various emissivities and for various dimensionless insolation energies are investigated. The dimensionless local convective heat flux and local radiative heat flux distributions in the wall except an adiabatic wall are also compared.

기호 설명

- A : 총 방사율(overall emittance)
- F : 형상계수(shape factor)
- g : 중력 및 조사(irradiosity)
- G : 무차원 조사($g/\sigma t m^3 \Delta t$)
- H : 밀폐공간의 수직방향길이
- j : 출사(radiosity)
- J : 무차원 출사($j/\sigma t m^3 \Delta t$)
- k : 유체의 열전도율
- L : 밀폐공간의 수평방향길이
- N : 수정된 Stark수($k/\sigma t m^3 \Delta L$)
- n : 미소 벽면갯수
- N : Nusselt수
- Pr : Prandtl수(ν/α)
- p : 압력
- P : 무차원 압력($p/\rho(\nu/L)^2$)
- q : 일사에너지
- q_m : 밀면에 주어진 평균열유속
- Q^* : 무차원 밀면의 균일열유속($q_m L/k \Delta t$)
- Q : 무차원 일사에너지($q_m/\sigma t m^3 \Delta t$)
- R : Rayleigh수($g\beta L^3(t_h - t_c)/\nu\alpha$)
- Ra^* : 수정된 Rayleigh수 ($g\beta q_m L^4/k\nu\alpha$)
- R : 총 반사율(overall reflectance)
- t : 온도
- T : 총 투과율(overall transmittance)
- u : 수평 방향속도
- U : 무차원 수평방향 속도(uL/ν)
- v : 수직방향 속도
- V : 무차원 수직방향 속도($\nu L/\nu$)
- x : 수평방향 좌표
- X : 무차원 수평방향 좌표(x/L)
- y : 수직방향 좌표
- Y : 무차원 수직방향 좌표(y/L)

그리스 문자

- α : 열확산계수
- β : 열팽창계수

- ϵ : 방사율
- ν : 동점성계수
- σ : Stefan-Boltzmann 상수
- Φ : 무차원 온도($t/(t_h - t_c)$)
- Φ_m : 무차원 평균온도($(t_h + t_c)/(2(t_h - t_c))$)

하첨자

- B : 밀면
- c : 저온면
- h : 고온면
- i : 복사의 미소영역 기준면
- j : 복사의 미소영역 목표면
- m : 평균
- mB : 밀면의 평균
- R : 우측면
- T : 윗면
- 1 : 창문의 길이
- Φ_m

1. 서 론

정사각형 밀폐공간내의 자연대류 열전달에서 수직면의 한쪽은 가열되고 반대쪽은 냉각되며 상, 하가 단열면인 경우, 즉 수평방향의 균일한 온도구배가 존재하는 유체내에서 유동과 온도분포에 대한 연구가 많이 있다¹⁻³⁾. 이들 연구의 공통점은 복사열전달을 무시한 자연대류에 관한 연구들이다. 그러나 공학적으로 태양열 집열기와 축열조의 내부유동은 복사가 대류와 강력하게 상호작용하여 밀폐공간 내부의 열전달량이 현저히 증가된다. 정사각형 밀폐공간에서 복사열전달이 존재하는 자연대류에 관하여 최근에 많은 연구가 수행되어지고 있다.

Yucel등⁴⁾은 좌, 우면이 등온이고 상, 하면이 단열인 경우 내부, 외부적으로 가열되는 정사각형 밀폐공간에서 표면복사를 고려한 자연대류 열전달에 대하여 복사 열전달방정식으로

복사열량을 구하는 P1근사를 이용하여 수치해석 하였으며 광학두께, Rayleigh수와 경사각을 변수로 연구하였다.

Fusegi등⁵⁾은 Yucel이 사용한 동일한 온도경계조건을 이용한 정사각형 밀폐공간에서 비회색 기체가 작동 유체일때 층류, 난류 기체복사에 대하여 연구 하였으며 표면복사, 기체복사, 순수 자연대류의 열전달 현상을 비교 고찰하였으며 P1근사를 사용하여 해를 구하였다. 여기서 표면복사가 존재하는 단열면은 급격한 온도기울기와 높은 강도의 유동이 발생한다고 고찰하였다.

온돌난방의 공간을 2차원화한 정사각형 밀폐공간의 윗면은 저온인 형태가 되고 좌측면, 우측의 상, 하면은 단열이며 우측면 중앙은 환기를 위해 설치한 창문을 저온부로 가정 되며 밀면은 고온으로 창과 벽면의 열적특성과 기상조건에 의해 영향을 받게된다. 그리고 온돌공간의 내부유체가 복사에 대하여 투명한 공기이므로 벽면방사만 의존하는 표면복사의 경우이며 창으로 일사에너지가 통과하는 경우 각면에서 입사량이 표면복사에 영향을 미치게 된다. 이러한 경우, 공학적인 관점에서 온돌공간의 표면복사는 일사에너지, 벽면방사율에 의존된다.

본 연구는 정사각형 밀폐공간에서 밀면은 균일열유속이 유입된 고온부이며 윗면은 저온부이고 좌측면, 우측의 상, 하면은 단열이며 우측면 중앙은 저온부로 2차원화 한 온돌공간으로 가정하였다. 여기서 밀면의 균일열유속은 밀면이 등온인 상태의 온도차와 밀면의 평균 Nusselt수를 기준으로 하여 구하고 밀면이 등온인 상태와 비교 고찰하였다. 이 경우 밀면이 균일열유속일때는 표면복사 현상을 고찰하면 저온면과 고온면은 벽면방사율이 증가함에 따라 복사교환을 통하여 대류열전달보다 복사열전달이 증대되어 밀면의 온도분포가 자연대류와 비교하여 현저히 감소한다. 그러나 밀면이 등온인 경우는 균일 열유속에서 밀면의 온도

분포가 감소된 만큼의 복사열전달량이 증가되어 밀면의 열전달이 현저히 증가한다. 이러한 경우 일사에너지가 우측면 저온부(창)로 입사된 경우와 입사되지 않은 경우의 표면복사와 자연대류에 관하여 연구하였다. 그리고 창에서 일사에너지가 존재하는 표면복사의 경우는 표면복사와 구별하기 위하여 일사복사로 취급하였다.

표면복사 열전달을 해석하기 위해서는 Hottel⁶⁾에 의해 고안된후 보완 발전된 정미복사방법 (net radiation method)⁶⁾을 이용하여 벽면에서의 정미복사량을 구하였으며 형상계수(shape factor)⁶⁾를 구하기 위하여 교차선방법(crossed string method)을 이용하였다.

2. 이론 해석

2.1 지배방정식 및 경계조건

연구대상으로 취한 정사각형 밀폐공간의 기하학적 형상은 Fig.1과 같다. 균일열유속(q)을 가열하는 밀면은 열유속에 의한 전도열전달이 주위벽면의 열적특성에 영향을 받는 실제적인 온돌면으로서 고온부이다. 밀면이 등온상태인

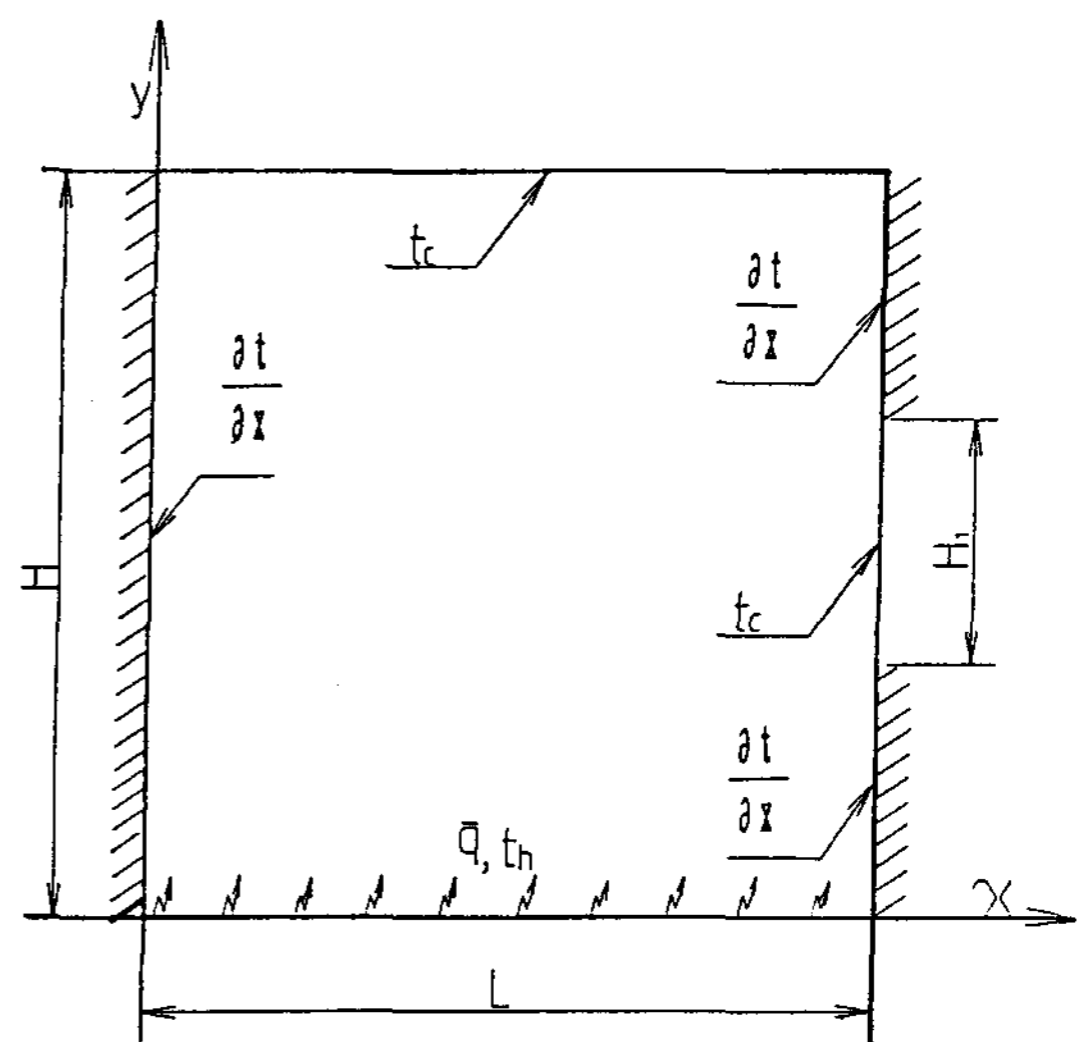


Fig.1 Schematic of the geometry investigated

경우와 열전달특성을 비교하기 위하여 다음식으로 평균열유속을 구하였다.

$$q_m = Nu_m(k/L)\Delta t \quad (1)$$

여기서 Nu_m , Δt 는 밀면이 등온상태인 순수 자연대류의 값을 사용하고 무차원화된 그 값은 $Q^* = 5.22$ 이다.

윗면과 우측면의 중앙부분은 저온부로 등온 t_c 이며 좌측면과 우측의 상, 하면은 단열면으로 가정하였다. 우측면 저온부의 무차원 수직길이 (H_1/L)는 0.33으로 고정하였다. 이 저온부는 $Y = 0.33 - 0.66$ 사이에 위치되어 있다. 밀폐공간의 내부유체는 복사에 대하여 투명한 공기이고 유체의 모든 물성치는 밀면이 등온면일때의 온도차에 대하여 흑체 및 회체로 가정하여 벽면방사율을 변수로 하였고 일사복사의 경우는 우측저온부를 제외한 공간내에 모든 표면은 방사율($\epsilon = 0.5$)로 고정하고 일사에너지를 변수로 하였다.

본 연구에서 유동은 2차원 정상 층류유동이고 유체는 비압축성 뉴턴유체이다.

부력항에서 나타나는 밀도변화 이외의 모든 물성치는 일정하며 에너지 방정식에서의 열소산항은 무시한다. 이와 같은 조건에서 무차원 변수를 이용하여 지배방정식을 다음과 같이 무차원화 하였다.

연속 방정식

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad (2)$$

운동량 방정식

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right) \quad (3)$$

$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) + \frac{Ra}{Pr}(\Phi - \Phi_m) \quad (4)$$

에너지 방정식

$$U \frac{\partial \Phi}{\partial X} + V \frac{\partial \Phi}{\partial Y} = \frac{1}{Pr} \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial Y^2} \right) \quad (5)$$

식(4)의 Φ_m 은 등온상태인 밀면의 온도차를 기준으로한 공간의 평균온도를 나타내고 있다. 또한 Rayleigh수는 Sparrow와 Gregg에 의해 제안된 수정된 Rayleigh수 $Ra^*(Ra \cdot Nu)$ 를 사용한다.

2.2 복사열유속 방정식

복사 열유속 방정식이 만족하기 위해서 다음과 같은 가정이 필요하다.

- (1) 반사율, 흡수율 및 방사율은 파장이나 온도와 방향에 따라 영향을 받지 않는다.
- (2) 임의의 미소면에서의 조사와 출사는 균일하다.
- (3) 일사될때 우측면 저온부(창)의 온도는 전체적으로 균일하고 일사에너지는 방향성을 가지고 있지않다.

2.2.1 표면 복사

표면복사는 기준면에서 출사와 기준면으로의 조사로 나타낼수 있으며 아래와 같은 관계식으로 나타내어 진다. 여기서 J_i 와 G_i 는 각각 미소영역 기준면의 무차원 출사와 조사를 나타내고 있다.

$$\sum_{j=1}^n (\delta_{ij}(\epsilon_i - 1)F_{ij})J_j = \epsilon_i(\Phi_i^4 / \Phi_m^3) \quad (6)$$

여기서 $\delta_{ij} = 1 : i=j$
 $0 : i \neq j$

$$G_i = \sum_{j=1}^n J_j F_{ij} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (7)$$

2.2.2 일사 복사

우측 저온부를 제외한 면에서의 무차원 출사와 조사에 대한 관계식은 윗식과 같으나 우측 저온부에서의 일사에너지를 고려한 출사에 대한 관계식은 다음과 같다.

$$\sum_{j=1}^n (\delta_{ij} - R_{F_{ij}}) J_j = A_i (\Phi_i^4 / \Phi_m^3) = T_i Q \quad (8)$$

여기서 하첨자 ij 는 각각 미소영역의 출사와 조사에 대한 기준점과 목표점을 나타내고 R , T , A 는 우측저온부(창)에서 복사에너지의 총 반사율, 투과율, 방사율을 각각 나타내고 있다.

2.3 경계 조건

모든 벽면에서의 속도경계조건은 점착(no slip) 조건을 만족하므로 $U=0$, $V=0$ 이고 온도 경계조건은 다음과 같다.

$$Y=0 : \frac{\partial \Phi}{\partial Y_i} = \frac{1}{N} (G_i - J_i) + Q^* \quad (9)$$

$$Y=1 : \Phi_c = \Phi_m - 0.5 \quad (10)$$

$$X=1, 0.33 < Y < 0.66 : \Phi_c = \Phi_m - 0.5 \quad (11)$$

$X=0$, $X=1$ 이고 단열면의 경우 :

$$\frac{\partial \Phi}{\partial X_i} = \frac{1}{N} (G_i - J_i) \quad (12)$$

여기서 N 은 Stark수로서 복사에 대한 전도의 상대적크기를 나타내는 무차원 수이다.

2.6 수치 해석

본 해석의 직각 계산영역은 형상비(H/L)가 1.0이므로 격자는 34×34 로 하여 무차원 지배 방정식(2) - (5)를 체적 공식화에 의해서 차분 화시켰으며 차분 방정식은 복사열유속 방정식 과 경계조건(6) - (12)를 이용하여 SIMPLE알

고리즘에 의해서 수치해석하였다. 이 과정에서 안정된 해의 수렴을 위하여 이완계수를 사용 하였다. 본 해석의 수렴조건은 고온부에서 유 입되는 열량과 각 저온부로 유출되는 열량의 열평형의 오차가 0.01%이하 일때로 하였다.

Nusselt수는 수렴된 해로 부터 다음과 같이 밀면의 국소Nusselt수와 평균 Nusselt수를 구 하였다.

$$Nu_B = \frac{\partial \Phi}{\partial Y (\Phi_B - \Phi_c)} \Big|_{Y=0} + \frac{1}{N} (G_i - J_i) \quad (13)$$

$$Nu_{mB} = \int_0^1 Nu_B dX \quad (14)$$

3. 결과 및 고찰

본 연구에서의 고찰범위인 $Ra=6.53 \times 10^5$, $Pr=0.69$ 일때 온돌공간 내부에서 방사율이 변 수가되는 표면복사의 경우, 각면에서 벽면방 사율은 일정하며 밤으로 가정하여 방사율($0.0 < \epsilon < 1.0$)을 변수로하여 정미복사량을 구하고 밀면이 등온인 경우와 복사효과를 비교하여 Fig.3 - Fig.10에 나타내었다.

일사복사의 경우, 낮으로 가정하여 일사에 너지에 대한 우측저온부(창)의 총투과율이 1.0 인 이상적인 경우에 일사에너지를 변수($2.7 < Q < 8.5$)로하여 정미복사량을 구하고 밀면의 등온인 경우와 비교하여 복사효과를 비교하여 Fig.11 - Fig.18에 나타내었다. 이 결과로서 복 사가 고려된 경우와 자연대류의 유동과 열전달 특성을 비교 고찰하였다.

Fig.2는 (a)자연대류($\epsilon=0.0$), (b)표면복사($\epsilon =0.5$) 및 (c)일사복사($\epsilon=0.5$, $Q=8.5$)에 대한 등온선과 유선을 나타낸 것이다. 등온선은 모든 경우에 우측면저온부에 의해 유동이 시계방향 으로 형성되므로 밀면의 우측부근이 저온이고 좌측부근과 좌측벽이 고온인 형태를 취한다. 표면복사인 경우는 고온부인 밀면에서 저온부

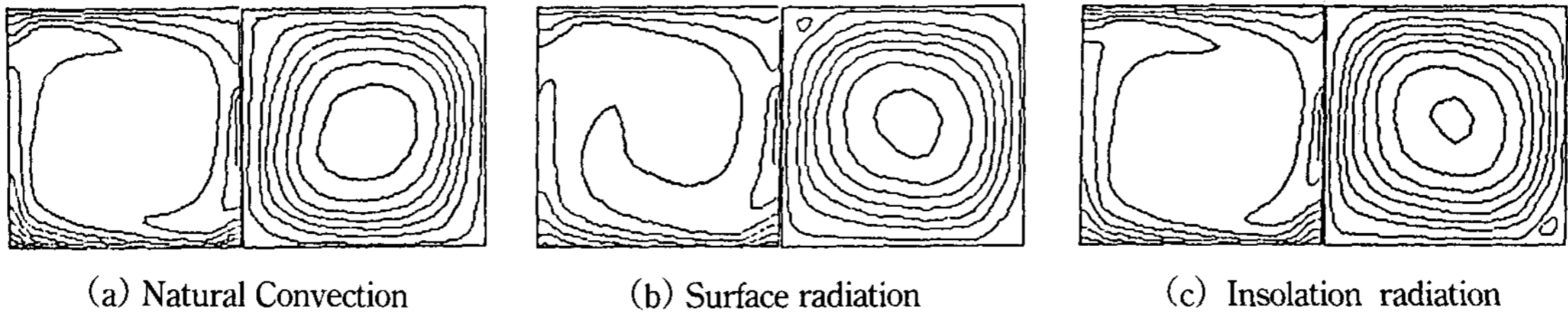


Fig.2 Isotherms and streamlines at $Ra=6.53 \times 10^5$, $Pr=0.69$

(a) $\epsilon=0.0$, (b) $\epsilon=0.5$, (c) $\epsilon=0.5$, $Q=8.5$

로의 출사량이 증가하여 다른 두조건 보다 고온부의 온도분포가 감소하고 각 단열면에서의 온도구배가 급격히 변화된다.

또한 일사복사의 경우는 일사에너지에 의한 조사량이 증가하여 각 지점의 벽면방사 둔화로 온도분포가 표면복사보다 현저히 증가하고 온도구배는 자연대류와 유사하다. 유선은 모든 경우에 우측저온부에 의한 영향으로 시계방향으로 이동하며 표면복사와 일사복사의 경우 좌, 우측면에서 출사와 조사량이 각각 증가하여 그곳의 상부와 하부에 2차유동이 형성된다.

Fig.3은 표면복사일때 여러가지 방사율에 대하여 무차원 수평거리에 대한 밀면온도 분포를 밀면이 등온인 조건과 비교하여 나타내고 있다.

표면복사가 없는 자연대류 경우, 우측 저온부에 의해 냉각되어 하강한 유체가 도달하여 부력의 영향이 증가되는 우측면부근($X=0.72$)에서 최소 온도를 나타내고 단열면에 의해 부력의 영향이 둔화되는 좌측면부근은 등온조건보다 높은 온도를 나타낸다. 그러나 벽면방사율이 증가함에 따라 상대적으로 고온인 좌측면부근에서 출사량이 증가하여 등온조건보다 온도분포가 현저히 감소하며 $\epsilon=1.0$ 인 경우는 좌, 우측단열면 부근 온도가 거의 유사하게 나타난다. 이는 방사율이 증가함에 따라 출사량이 증가한 만큼 온도가 감소하여

상대적으로 고온이던 좌측면 부근이 우측면 부근보다 부력에 의한 대류의 영향이 현저히 감소하고 표면복사의 영향이 증가함을 나타내

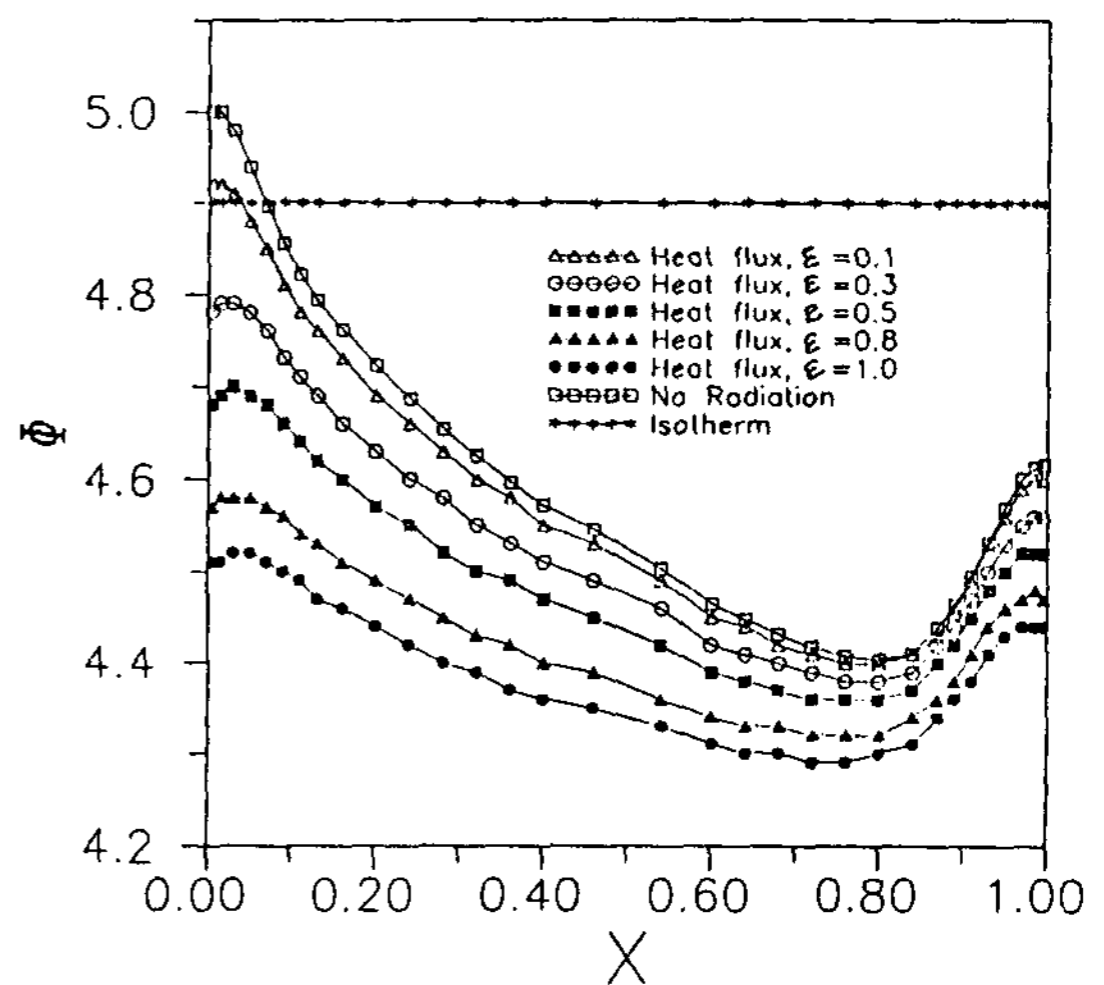


Fig.3 Local temperature of the bottom surface versus dimensionless horizontal distance for various emissivities at $Pr=0.69$, $Ra=6.53 \times 10^5$

는 것이다.

Fig.4, Fig.5는 조건이 Fig.3과 동일한 경우 무차원 수직거리에 대한 좌, 우측단열면의 온도분포를 밀면이 등온인 조건과 비교하여 나타내고 있다 좌, 우측 단열면의 온도분포는 밀면의 등온상태($\epsilon=0.5$)보다. 각 지점의 온도가 낮게 나타나고 있다. 이들 출사에 의해 온도가 감소하는 밀면에 의한 영향이다. 좌측 단열면 온도분포는 벽면방사율이 증가함에 따라 저온부로의 출사량이 증가하여 자연대류보다 현저히 감소하고 거리변화에 따른 온도차가 미소하므로 수직방향으로 부력의 변화가 작다. 그리고 우측면의 온도분포는 벽면방사율이 증

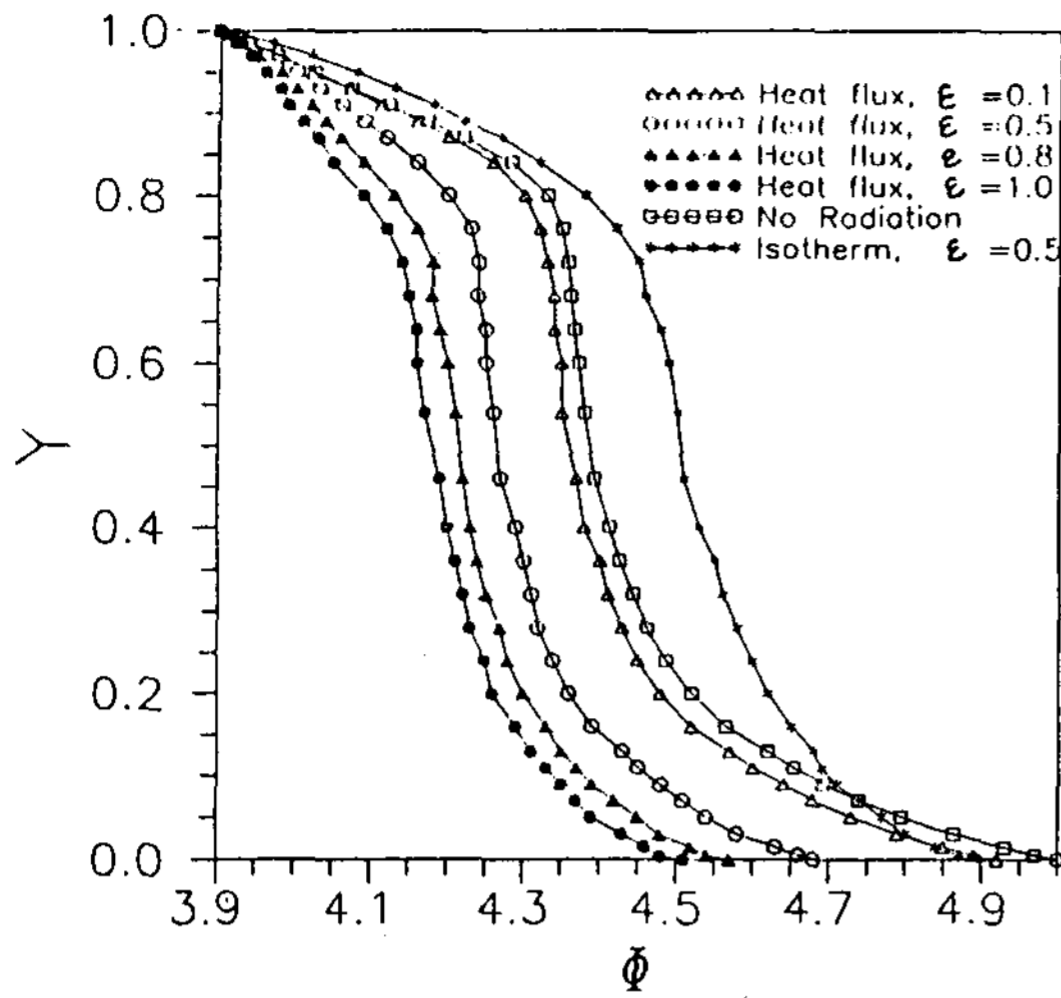


Fig.4 Local temperature of the left surface versus dimensionless vertical distance for various emissivities at $Pr=0.69$, $Ra=6.53 \times 10^5$

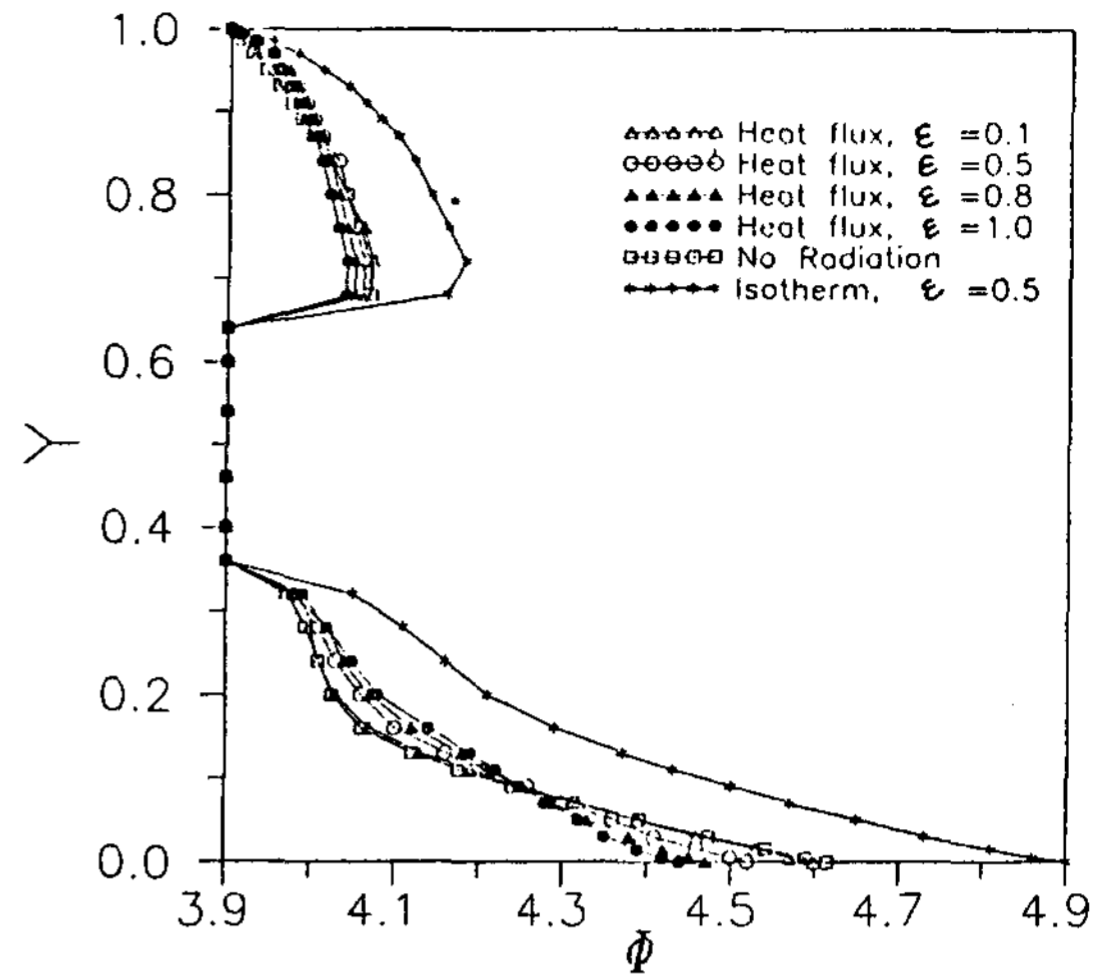
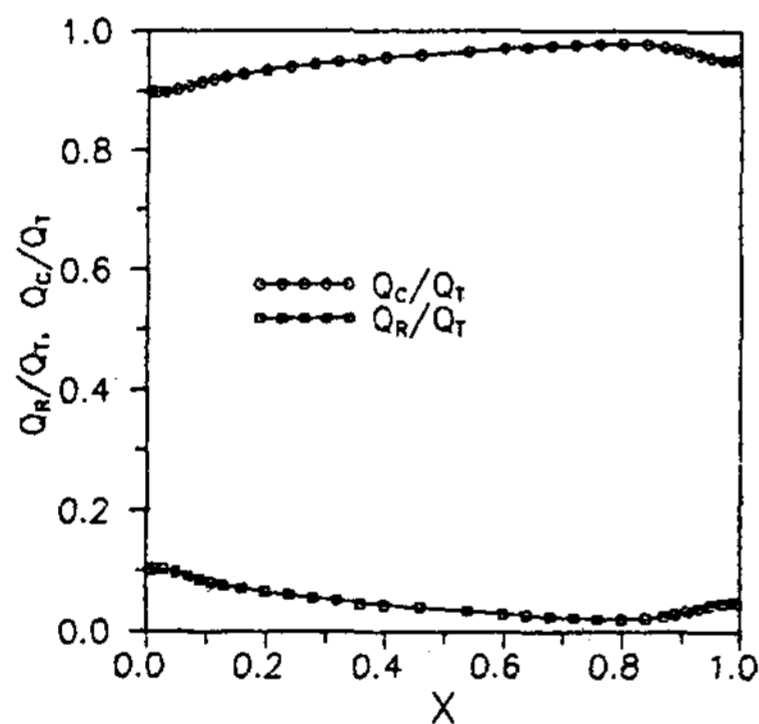
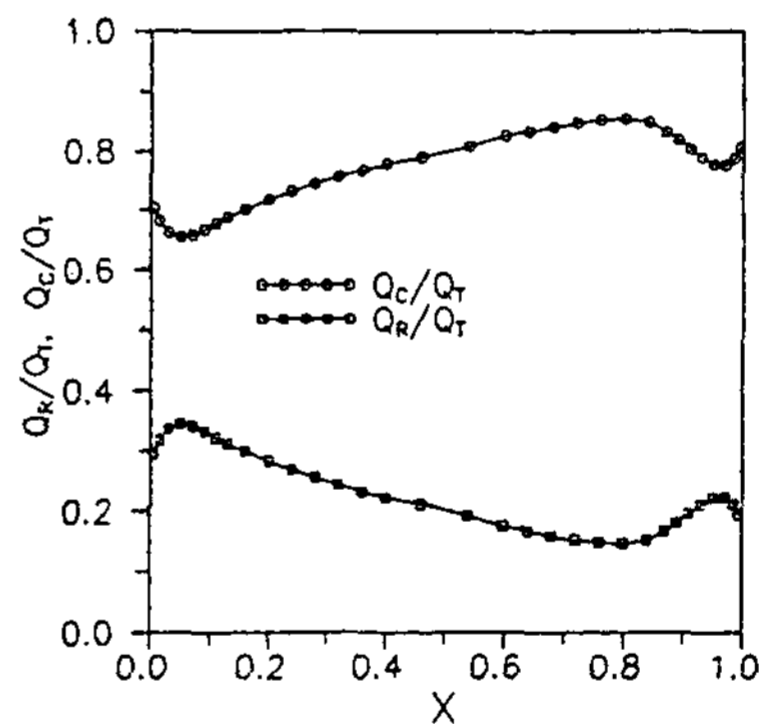


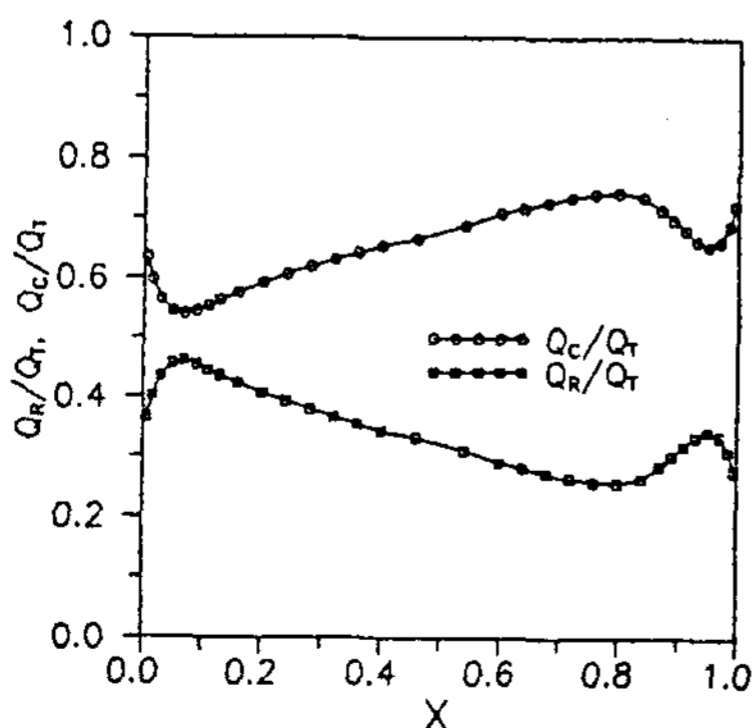
Fig.5 Local temperature of the right surface versus dimensionless vertical distance for various emissivities at $Pr=0.69$, $Ra=6.53 \times 10^5$



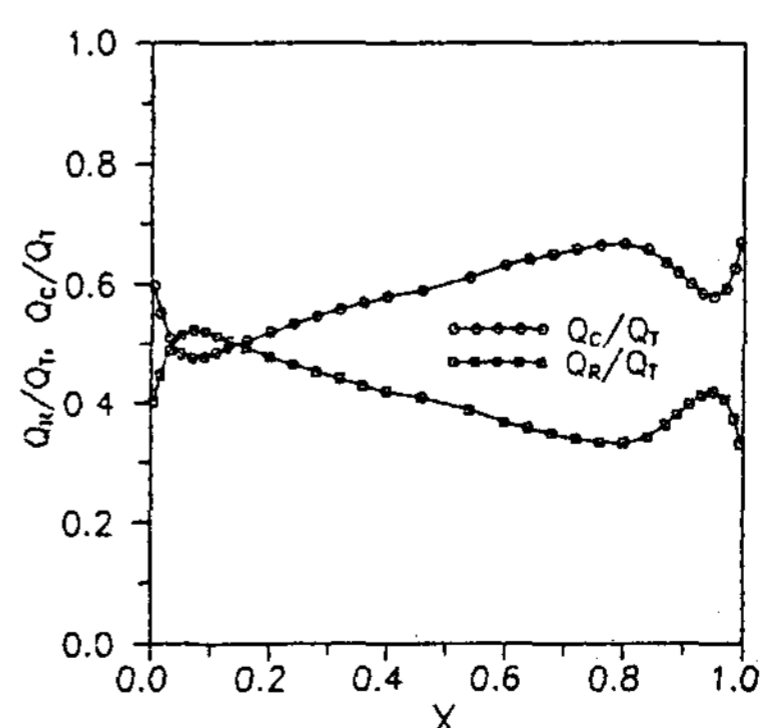
(a) $\epsilon=0.1$



(b) $\epsilon=0.5$



(c) $\epsilon=0.8$



(d) $\epsilon=1.0$

Fig.6 Dimensionless local convective heat flux and local radiative heat flux of the bottom surface at $Pr=0.69$, $Ra=6.53 \times 10^5$

가함에 따라 저온부를 중심으로 상, 하부면이 각각 반전되고 있다. 이는 저온부에 의해 상대적으로 저온인곳은 조사량이 많으므로 온도 분포가 증가하기 때문이다.

Fig.6은 조건이 Fig.3과 동일한 경우 밀면을 통하여 전도되는 균일열유속에 대한 대류열유속과 복사열유속의 비율을 나타내고 있다. 전체적으로 방사율이 증가함에 따라 대류열유속과 복사열유속은 감소와 증가되고 특히 좌, 우측단열면 부근에서 복사효과가 증가되고 있다. 그리고 이들의 차가 $X=0.05$, 0.8 부근에서 복사효과와 대류효과와의 증가로 인하여 최저와 최대치를 나타내고 있다. 특히 벽면방사율이 증가함에 따라 $\epsilon=1.0$ 인 경우는 상대적으로 고온이던 $X=0.07$ 에서 출사량증가로 인해 저온으로 변화되어 대류 열전달이 감소되므로 복사열유속이 대류열유속보다 증가된다.

Fig.7은 조건이 Fig.3과 동일한 경우 밀면의 온도를 기준으로한 밀면 국소 Nusselt수 Nu_B 를 나타내고 있다. 방사율이 증가함에 따라 Nu_B 는 증가하며 그 값이 좌, 우측단열벽 부근에서 복사효과가 증대되어 미소하게 증가하고

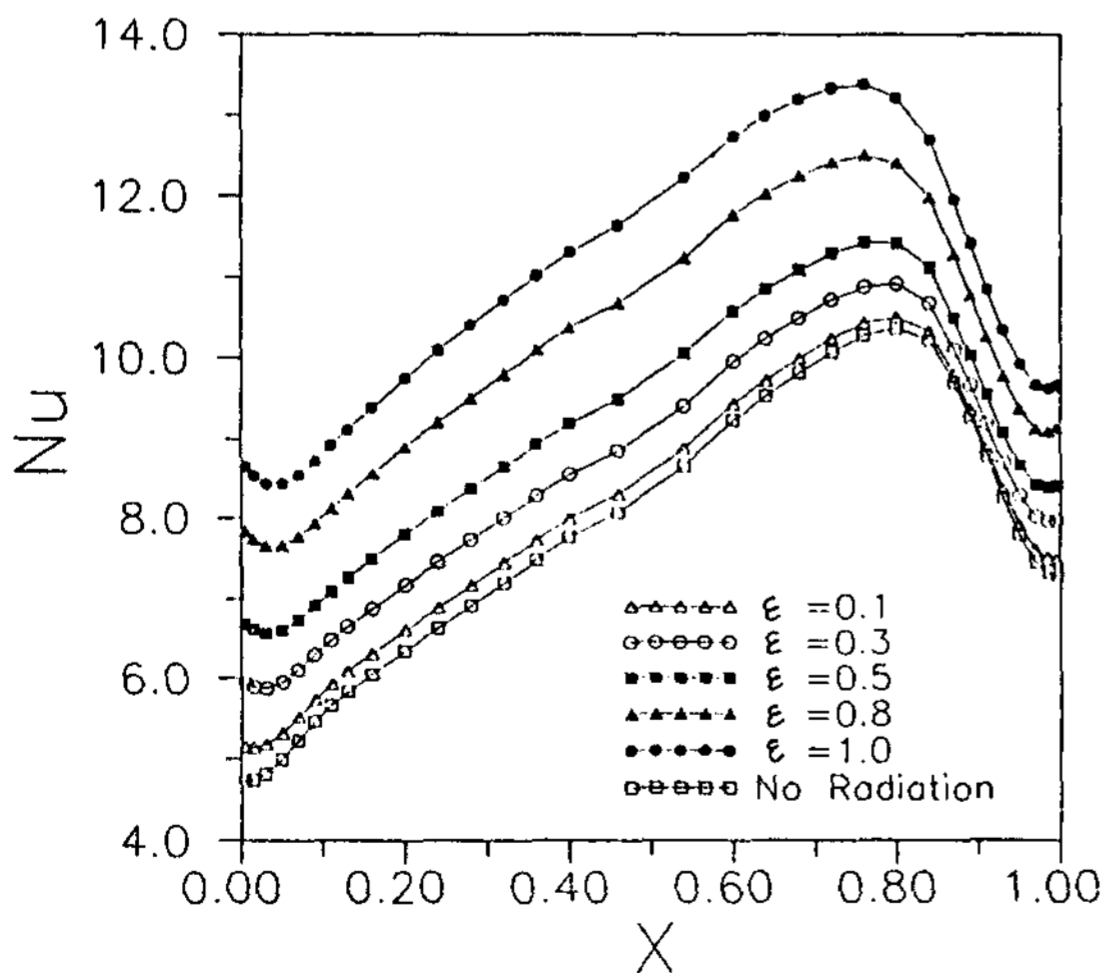


Fig.7 Local Nusselt number of the bottom surface versus dimensionless horizontal distance for various emissivities at $Pr=0.69$, $Ra=6.53 \times 10^5$

있다. 또한 방사율이 증가함에 따라 최대값과 최소값의 차이가 현저히 감소하였다. 이는 Fig.6에서 고찰 한 바와 같이 복사열전달 증대에 의한 대류열전달의 둔화에 때문이다.

Fig.8은 조건이 Fig.3과 동일한 경우 등온인 윗면저온부의 각 지점으로 전도되는 전체 열유속에 대한 대류열유속과 복사열유속의 비율을 나타내고 있다. 벽면 방사율이 증가함에 따라 좌측면부근과 특히 우측면부근에서 복사열유속이 증가하고 있다. 이와 반대로 대류열유속은 현저히 감소하고 있다. 이는 벽면방사율이 증가함에 따라 각 단열면에서 복사효과가 크기 때문이며 특히 저온이어서 출사량이 작은 우측단열면 부근에서 조사에 의한 복사효과가 두드러지고 있다. 그러나 $X=0.2$ 에서는 밀면에서 가열되어진 유체가 도달하는 곳이므로 대류의 영향이 크게되어 벽면방사율의 변화에 관계없이 복사열유속보다 대류열유속이 증가하고 있다.

Fig.9는 조건이 Fig.3과 동일한 경우 등온인 우측면저온부와 각 지점으로 전도되는 전체 열유속에 대한 대류열유속과 복사열유속의 비율을 나타내고 있다. 벽면방사율이 증가함에 따라 아랫부분이 윗부분보다 복사열유속이 증가하여 복사효과가 증가하고 있다. 이는 유체가 우측 저온부의 상부에서 하강유동하기 때문에 윗부분에서 대류열전달량이 많기 때문이다.

Fig.10은 조건이 Fig.3과 동일한 경우 $X=0.5$ 일때 벽면방사율 증가에 따른 수평방향 무차원속도분포를 나타내고 있다. 벽면방사율이 증가함에 따라

상, 하벽면 부근에서의 속도분포는 현저히 감소하고 상, 하대칭형태를 나타내고 있다. 그러나 $0.25 < Y < 0.75$ 에서는 속도분포가 벽면방사율이 증가 할 수록 Fig.4에서 고찰한 바와 같이 상부와 하부의 온도차가 감소하여 대류의 영향의 감소로 인한 복사량의 영향이 증가하여 벽면에서 먼곳까지 부력의 영향이 미치므로 유동강도가 증가함을 나타내고 있다.

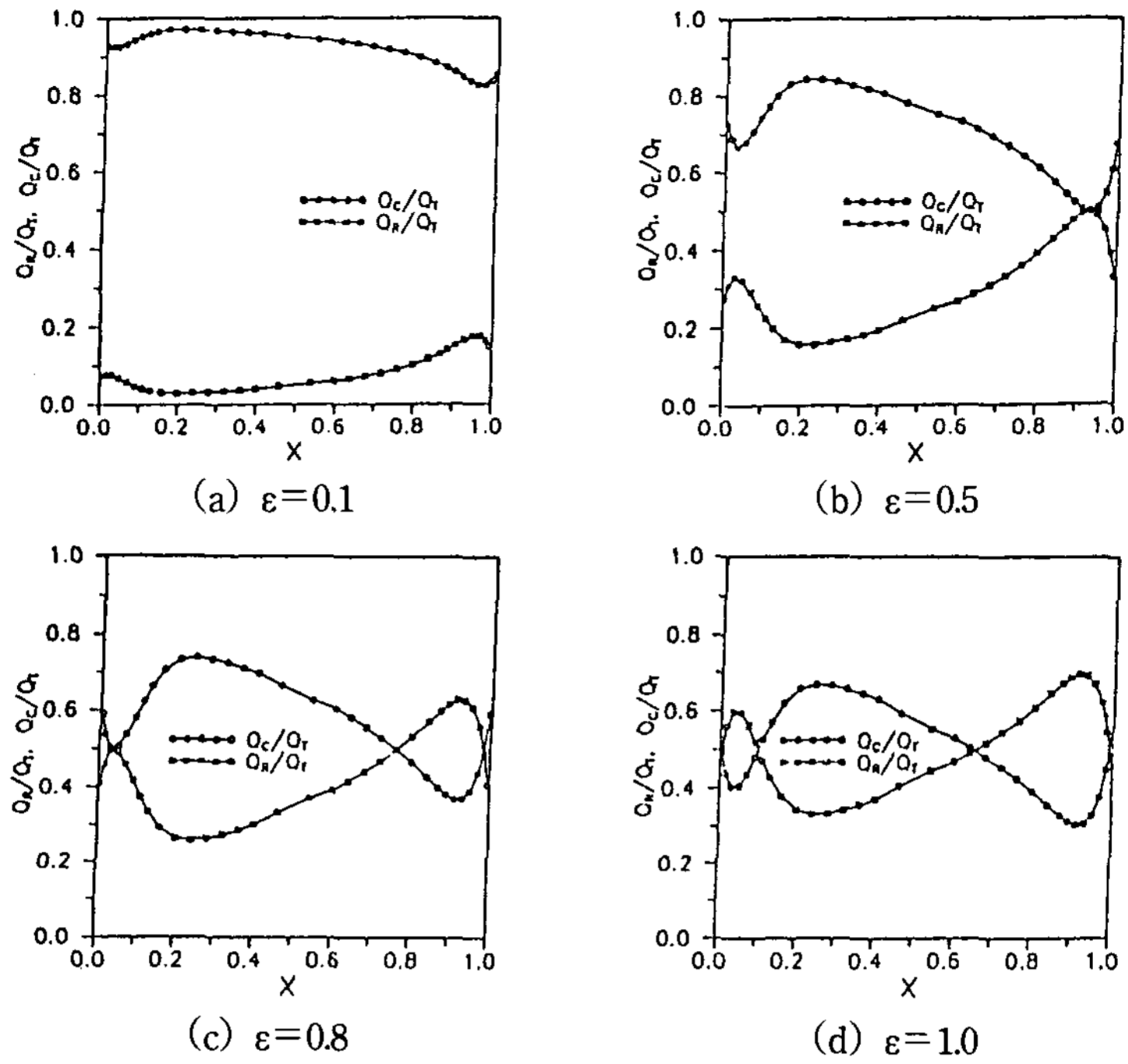


Fig.8 Dimensionless local convective heat flux and local radiative heat flux of the top surface at $Pr=0.69, Ra=6.53 \times 10^5$

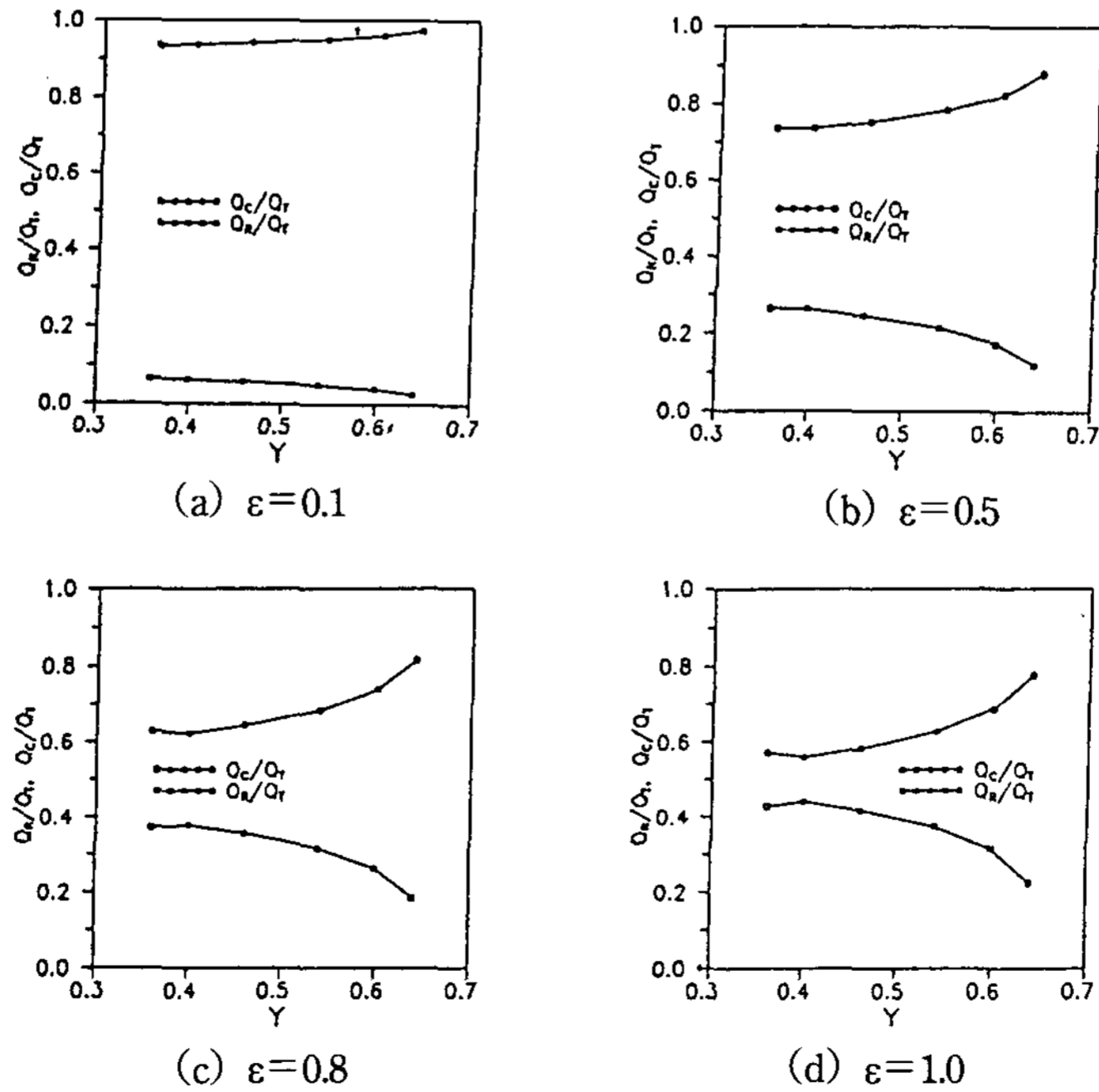


Fig.9 Dimensionless local convective heat flux and local radiative heat flux of the right surface at $Pr=0.69, Ra=6.53 \times 10^5$

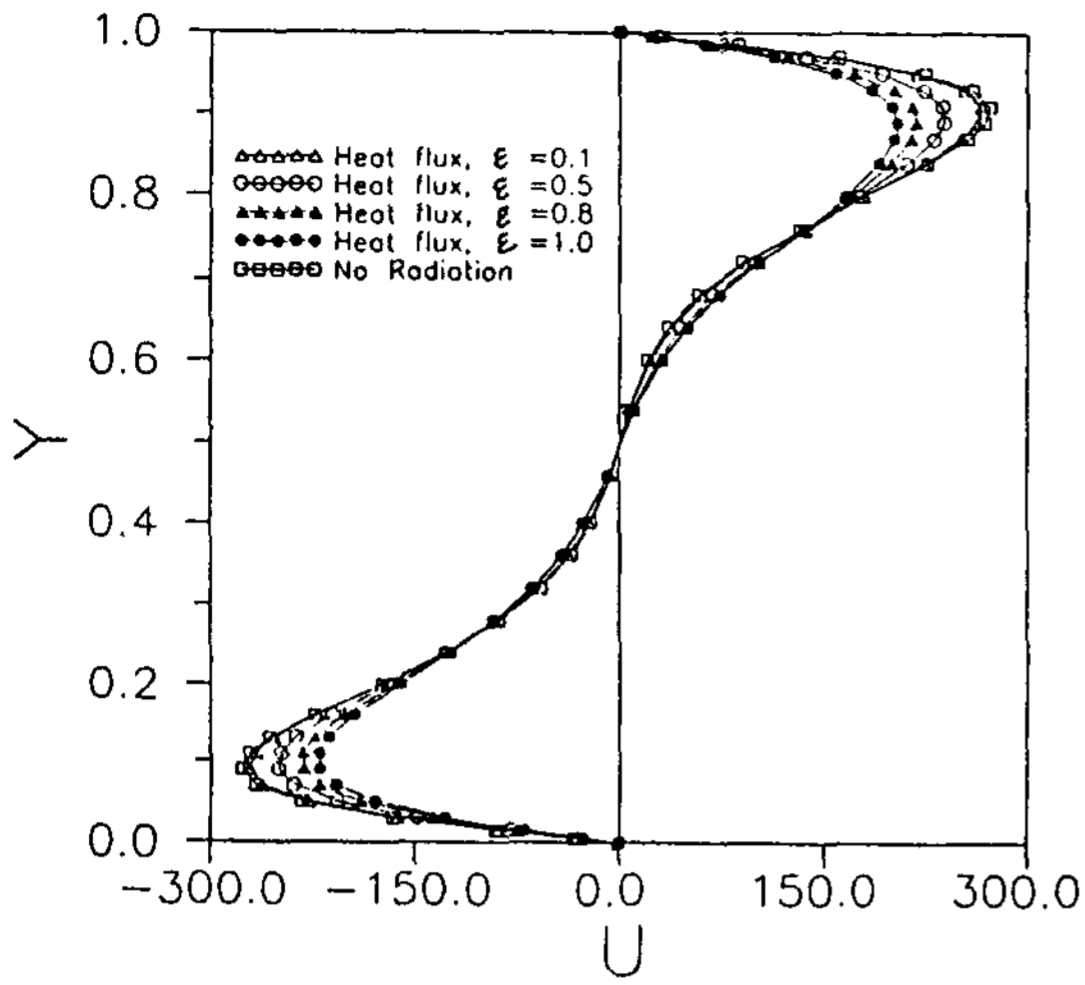


Fig. 10 Dimensionless vertical distance versus dimensionless horizontal velocity for various emissivities at $Pr=0.69$, $Ra=6.53 \times 10^5$, $X=0.5$

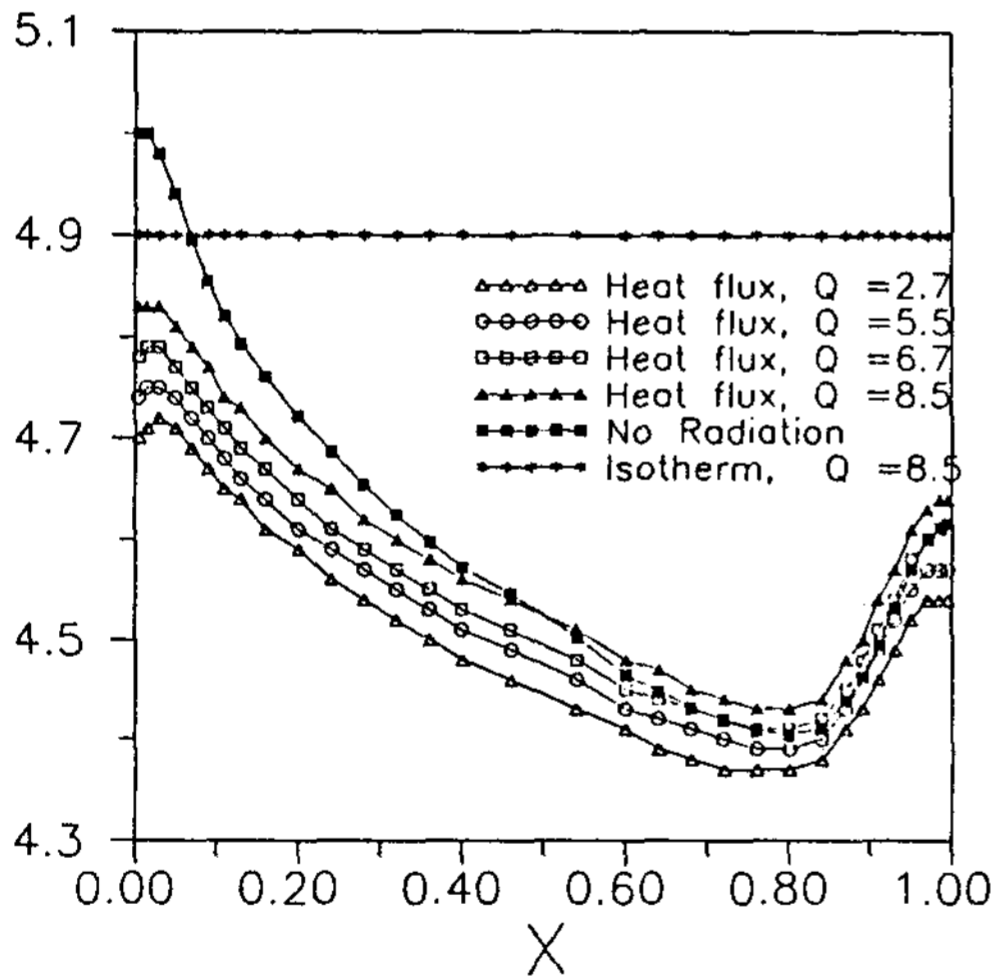


Fig. 11 Local temperature of the bottom surface versus dimensionless horizontal distance for dimensionless insolation energies at $Pr=0.69$, $Ra=6.53 \times 10^5$

Fig. 11은 $\epsilon=0.5$, 일사복사일때 일사에너지 변화에 대한 밀면 온도분포를 등온조건과 비교하여 나타내고 있다. 일사에너지가 증가함에 따라 각지점의 온도가 등온조건보다 낮은 온도분포를 나타내며 좌측과 특히 일사에너지의

영향을 많이 받는 우측면 부근과 좌측면 부근에서 복사효과 둔화로 온도분포가 균일하다. 이는 일사에너지에 의한 밀면으로의 조사량 증가로 인한 정미복사량의 감소로 복사효과가 둔화되기 때문이다. 그리고 $Q < 6.7$ 인 경우 $X < 0.7$ 에서는 상대적으로 저온이어서 출사량이 작으므로 일사에너지에 의한 조사량의 영향이

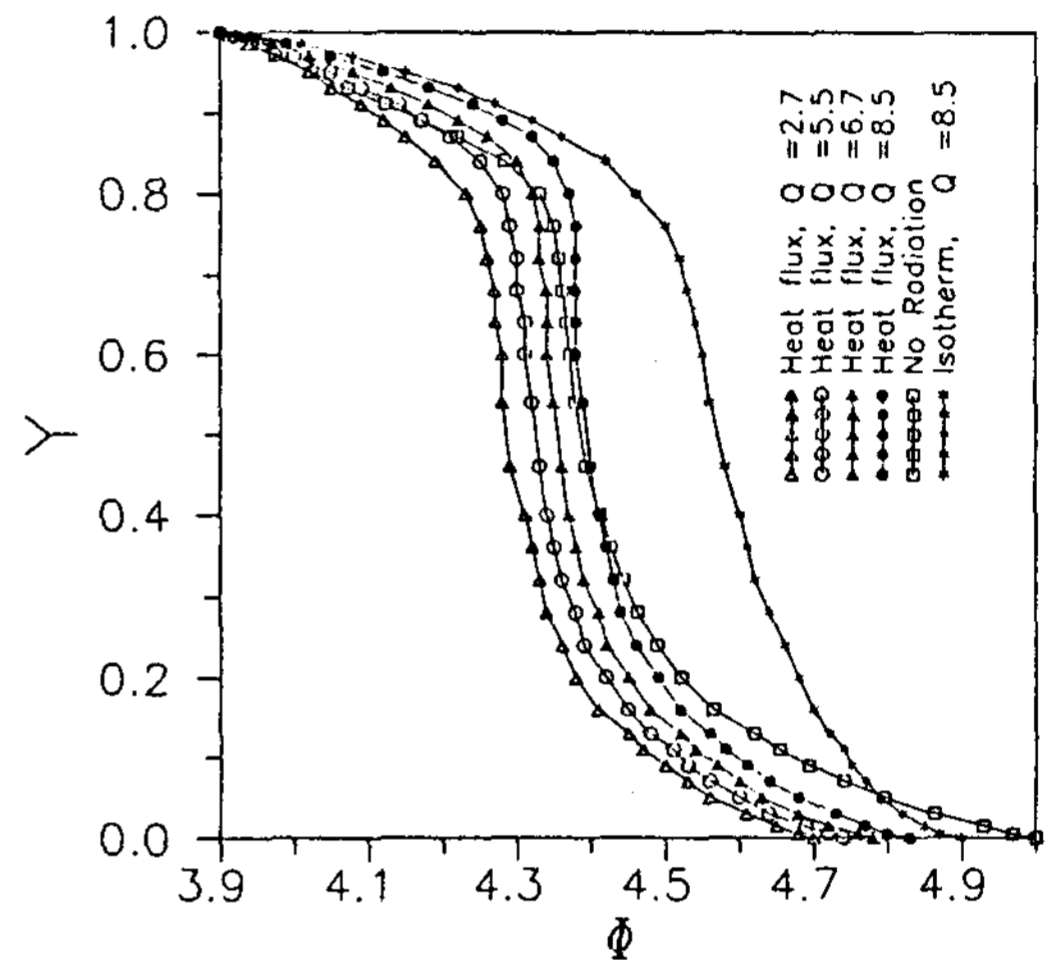


Fig. 12 Local temperature of the left surface versus dimensionless vertical distance for dimensionless insolation energies at $Pr=0.69$, $Ra=6.53 \times 10^5$

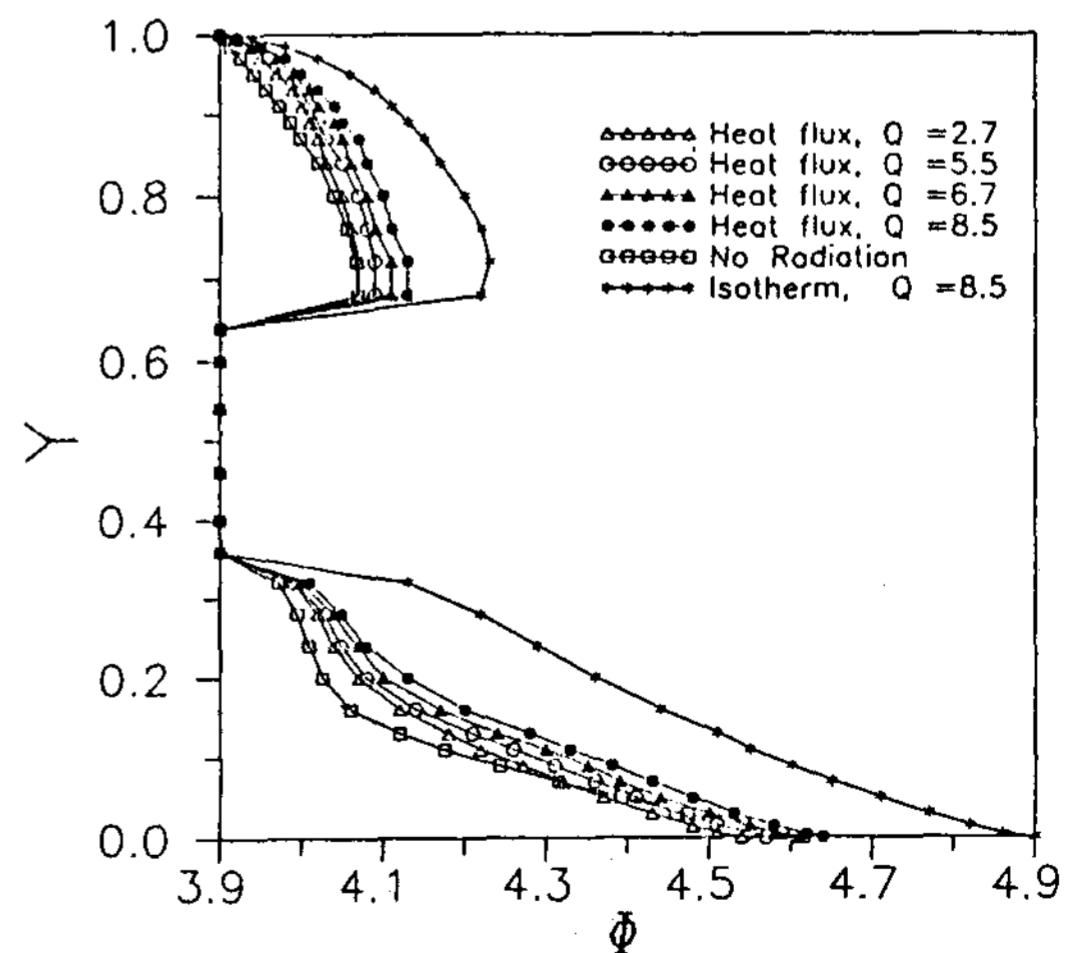


Fig. 13 Local temperature of the right surface versus dimensionless vertical distance for dimensionless insolation energies at $Pr=0.69$, $Ra=6.53 \times 10^5$

크므로 자연대류보다 온도분포가 높게 나타났다.

Fig.12, Fig.13은 조건이 Fig.11과 동일한 경우 일사에너지변화에 대한 좌, 우측단열면의 온도분포를 나타내고 있다. 온도분포는 Fig.4, Fig.5에서 고찰한 바와 같이 밀면이 등온인 경우보다 온도분포가 현저히 감소하고 있다.

좌측단열면 온도분포는 일사에너지가 증가함에 따라 상부면과 하부면 부근은 자연대류보다 현저히 증가와 감소하고 있다. 이는 하부면보다 상대적으로 저온인 상부면이 일사에너지에 의한 조사량 증가로 대류적인 영향이 증가됨을 나타내는 것이다. 그리고 우측단열면 온도분포는 일사에너지가 증가함에 따라 다른면으로 부터 입사된 일사에너지의 영향을 간접적으로 받지만 전체적으로

온도분포가 증가한다. 그러나 밀면에 의한 영향으로 상대적으로 고온이어서 출사량이 많은 $Y < 0.1$ 에서 $Q > 6.7$ 인 경우는 자연대류보다 온도분포가 높다.

Fig.14는 조건이 Fig.11과 동일한 경우 밀면을 통하여 전도되는 균일열유속에 대한 대류열유속과 복사열유속의 비율을 나타내고 있다. 일사에너지가 증가함에 따라 복사열유속은 감소하고 대류열유속은 증가하고 있으며 대류열유속과 복사열유속의 값이 대류와 복사의 상호작용에 의하여 대칭 형태를 나타내고 있다. 또한 상대적으로 저온이어서 출사량이 적은 지점($X=0.8$)에서 일사에너지에 의한 조사량의 영향으로 밀면의 온도가 증가하여 대류열전달이 현저히 증가하고 있다.

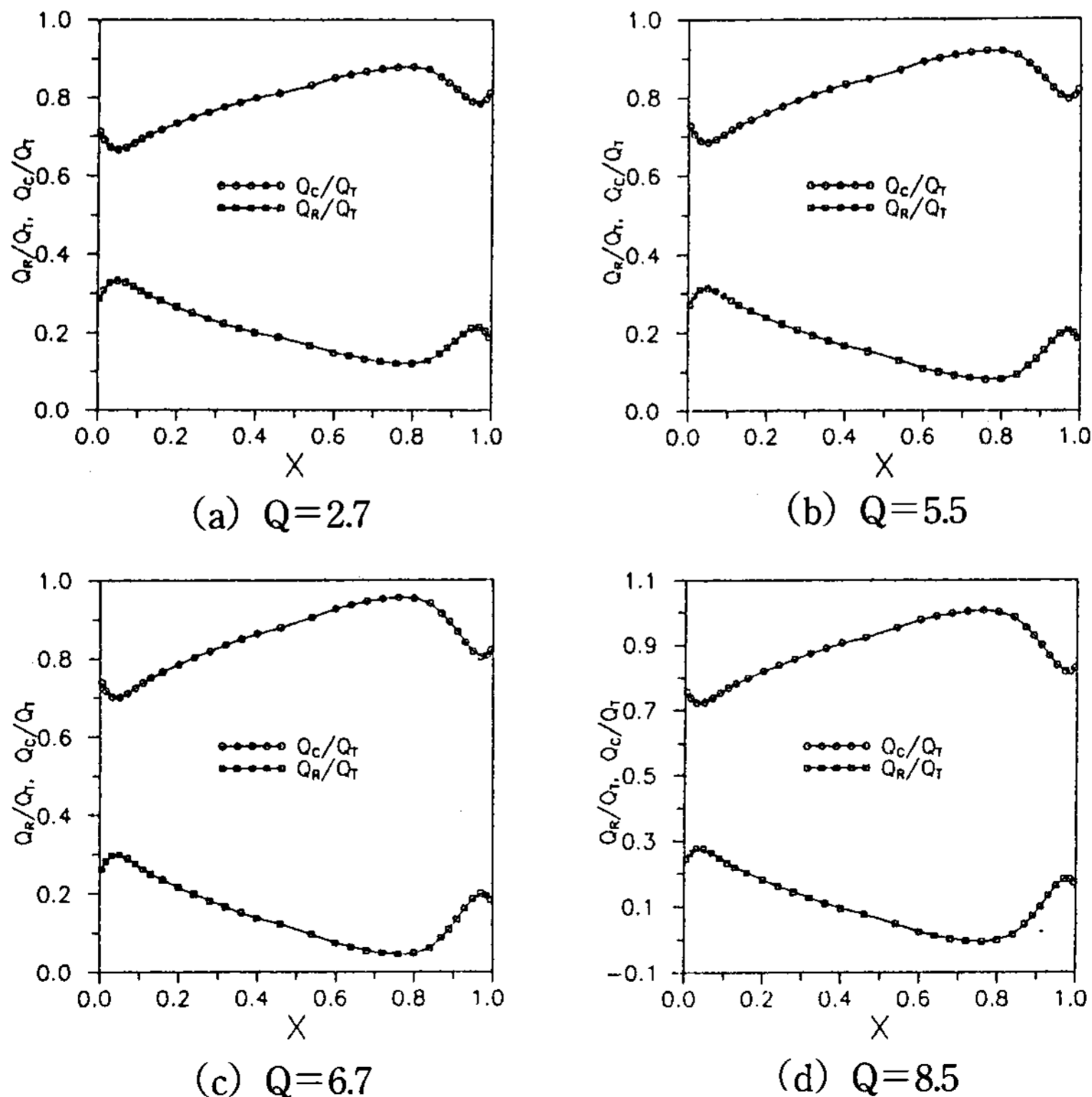


Fig.14 Dimensionless local convective heat flux and local radiative heat flux of the bottom surface at $Pr=0.69$, $Ra=6.53 \times 10^5$

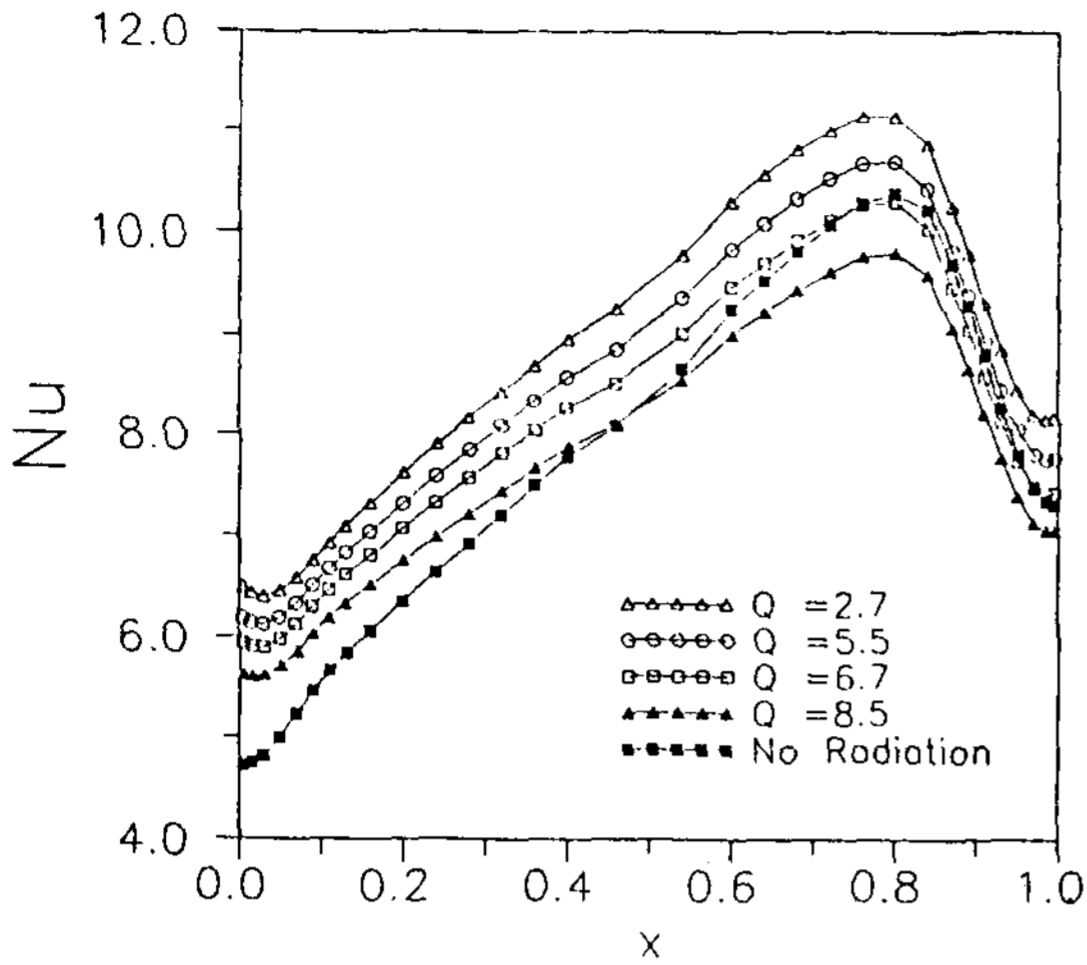


Fig.15 Local Nusselt number at the bottom surface versus dimensionless horizontal distance for dimensionless insolation energies at $Pr=0.69$, $Ra=6.53 \times 10^5$

Fig.15는 조건이 Fig.11과 동일한 경우 밑면 국소Nusselt수 Nu_B 를 나타내고 있다. 일사에너지가 증가함에 따라 Nu_B 가 현저히 감소하고 이는 일사에너지에 의한 조사량의 증가로 복사효과가 감소되기 때문이다. 그러나 $Q < 6.7$ 인 경우 $X < 0.8$ 에서 자연대류보다 열전달이 둔화되었다. 이는 복사효과가 감소한만큼 부력효과에 의한 대류열전달이 증가되지 못하는 것을 나타내고 있다.

Fig.16은 조건이 Fig.11과 동일한 경우 등온인 윗면저온부의 각 지점으로 전도되는 전체 열유속에 대한 대류열유속과 복사열유속의 비율을 나타내고 있다. 일사에너지가 증가함에 따라 좌, 우측면 부근에서 복사효과가 현저하지만 우측저온부와 가까운 우측면부근에서는 대류효과보다 복사효과가

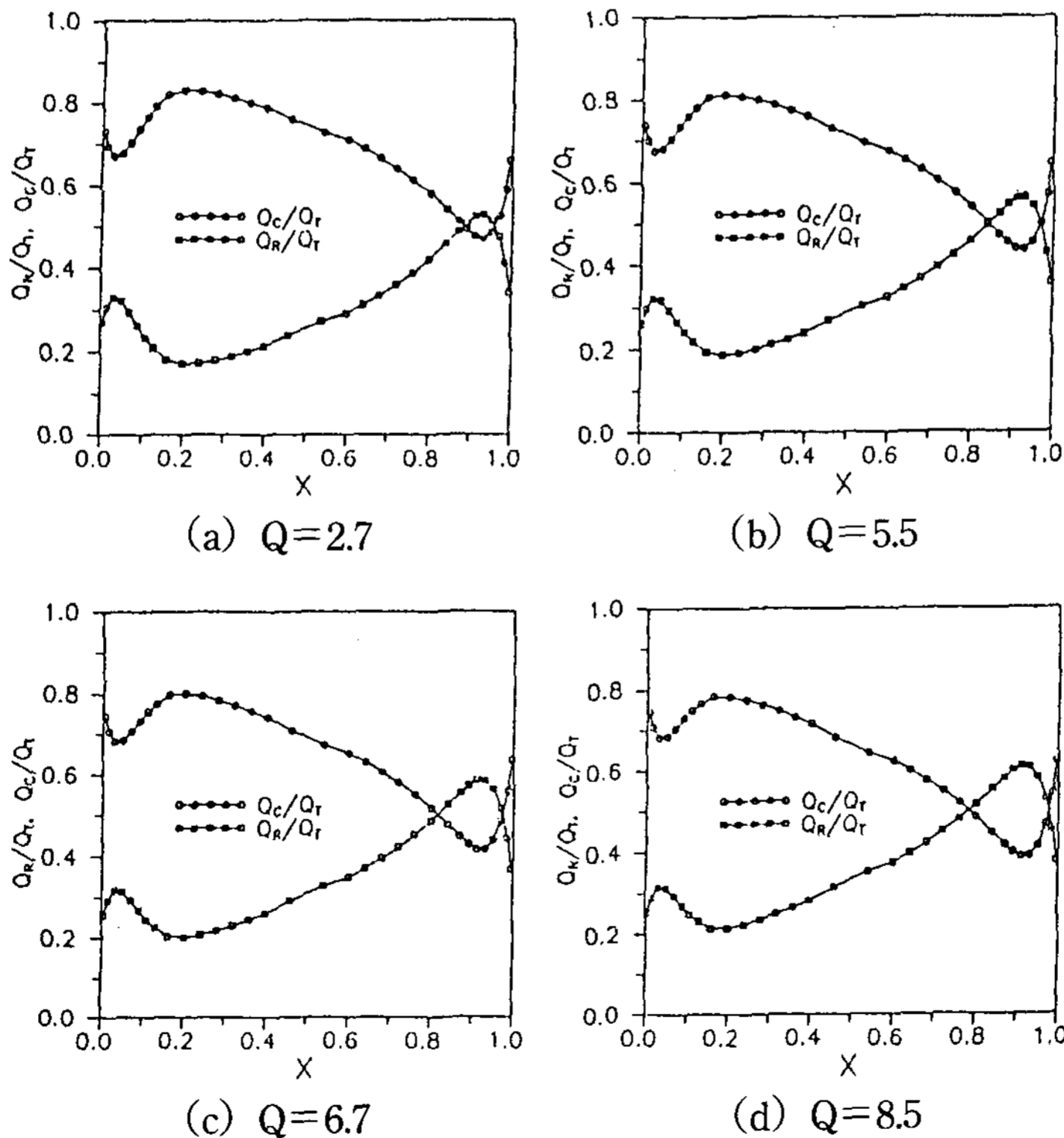


Fig.16 Dimensionless local convective heat flux and local radiative heat flux of the top surface at $Pr=0.69$, $Ra=6.53 \times 10^5$

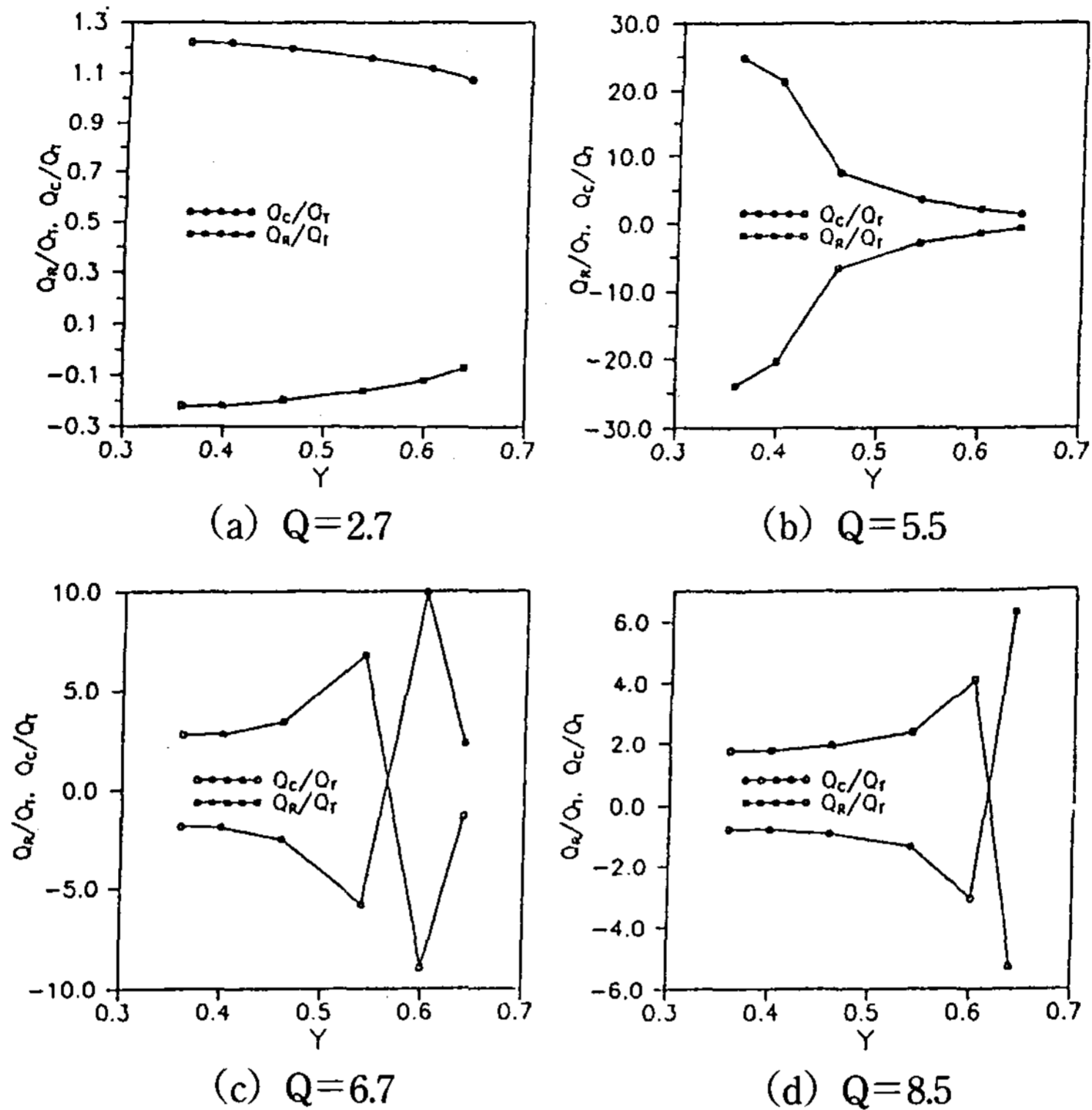


Fig.17 Dimensionless local convective heat flux and local radiative heat flux of the right surface at $Pr=0.69$, $Ra=6.53 \times 10^5$

현저히 증가하고 있다. 이는 우측저온부에 의해 저온인 우측면부근이 대류효과가 둔화되므로 일사에너지 증가에 의한 복사효과의 영향이 크기 때문이다.

Fig.17은 조건이 Fig.11과 동일한 경우 등온인 우측저온부의 각 지점으로 전도되는 전체열유속에 대한 대류열유속과 복사열유속의 비율을 나타내고 있다. 일사에너지(Q)가 5.5이하인 경우는 Q 가 6.7이상인 경우보다 저온부의 하부에서 대류효과가 증가하고 Q 가 6.7이상인 경우는 일사에너지가 증가함에 따라 저온부의 하부에서 복사열유속이 대류열유속보다 증가하고 있다. 이는 Q 가 5.5이하인 경우, 우측저온부(창)으로 입사되는 에너지의 양이 작아 일사에너지의 영향에 의한 우측저온부의 조사량이 크지않기 때문이다.

Q 가 6.7인 경우, 우측창으로 투과되어 입사된

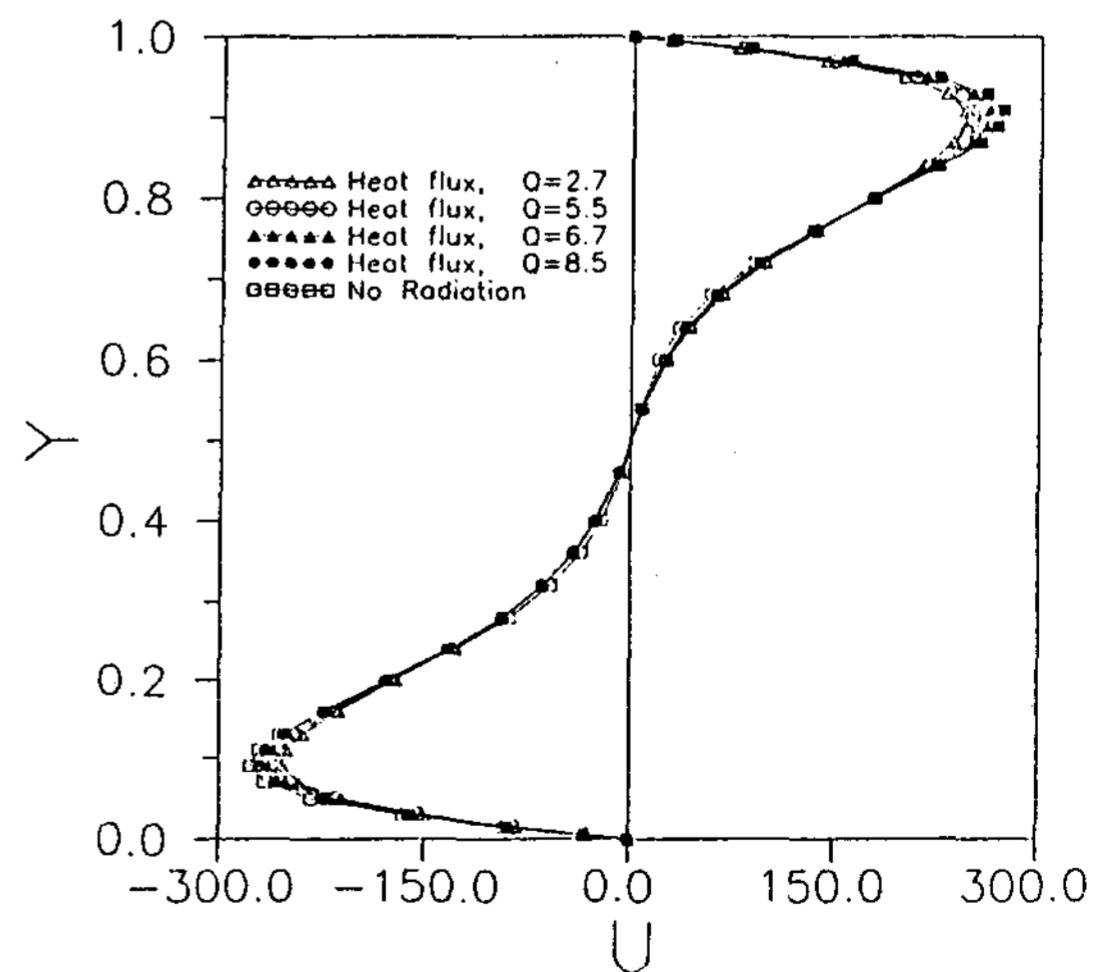


Fig.18 Dimensionless vertical distance versus dimensionless horizontal velocity for various dimensionless insolation energies at $Pr=0.69$, $Ra=6.53 \times 10^5$

에너지인 양이 크므로 우측저온부로서 조사량에 간접적인 영향을 많이 받기 때문이다.

Fig.18은 조건이 Fig.11과 동일한 경우 $X=0.5$ 일때 일사에너지 변화에 대한 수평방향 무차원속도분포를 나타내고 있다.

일사에너지가 증가함에 따라 상, 하벽면부근에서 속도분포는 미소하게 증가하며 $0.25 < Y < 0.7$ 에서는 미소하게 감소하여 자연대류값에 근접하고 있다. 이는 상, 하벽면간의 온도차이가 증가하므로 인해 복사의 영향이 둔화되어 벽면부근에서의 부력에 의한 대류의 영향이 증가되기 때문이다.

Table 1은 밀면의 온도경계조건이 등온과 균일열유속인 경우 밀면, 우측면, 윗면의 평균 Nusselt수를 나타내고 있다.

이 값들은 등온조건보다 균일열유속인 조건이 수정된 Rayleigh수에 의한 영향으로 약 30% 정도 증가하고 있다.

Table 1 Comparison of Mean Nusselt Numbers for Constant Heat Flux and Isothermal Conditions

Condition	Nu_{mB}	Nu_{mR}	Nu_{mT}
Constant Heat Flux	7.58	6.19	5.60
Isothermal	5.22	4.28	3.85

4. 결 론

정사각형 온돌공간내부의 복사 열전달에 관하여 $Ra=6.53 \times 10^5$, $Pr=0.69$ 일때 표면복사의 경우 방사율(ϵ)을 0.0-1.0으로 변경하고, 일사복사의 경우 $\epsilon=0.5$ 고정하고 일사에너지(Q)를 2.7-8.5으로 변경 하여 수치해석한 결과는 다음과 같다.

1. 밀면과 저온부의 온도차는 표면복사에서 벽면 방사율이 증가함에 따라 감소하고 일

사복사에서 일사에너지가 증가함에 따라 증가한다.

2. 일사복사의 경우는 표면복사보다 벽면으로의 조사량이 증가하여 각 지점에서의 온도 분포가 증가하지만 복사효과가 감소한 만큼 대류효과는 증가하지 않는다.
3. 표면복사인 경우는 일사복사와 순수자연대류보다 벽면에서의 유동강도는 둔화되지만 공간내에서의 유동이 강화된다.
4. 표면복사와 일사복사인 경우 밀면과 윗면의 좌, 우측면 부근에서 복사열유속이 현저히 증가하고 우측면 저온부의 상부는 대류열유속이 현저히 증가한다. 밀면은 좌측, 윗면은 우측 그리고 우측면 저온부는 하부에서 복사효과가 현저히 증가한다.
5. 밀면, 우측면, 윗면 평균Nusselt수는 밀면의 온도경계 조건이 균일열유속인 경우가 등온인 경우보다 약 30% 증가하고 있다.

참 고 문 헌

1. De Vahl Davis, G.,1968, "Laminar Natural Convection in an Enclosed Rectangular Cavity", Int.J. of Heat Mass Transfer, Vol.11, pp.1675-1693.
2. Wilkes, J.O.and Churchill, S.W., 1966, "The Finite-Difference Computation of Natural Convection in a Rectangular Enclosure", A.I. Ch.E. Journal, Vol. 12, No.1, pp.161-166.
3. Meyer, B.A., Mitchell, J.W. and El-Wakil, M.M., 1982, "The Effect of Thermal Wall Properties on Natural Convection in Inclined Rectangular Cells", ASME J. of Heat Transfer, Vol.104, pp.111-117.
4. Yucel, A., Acharya, S. and Williams, M.L., 1989, "Natural Convection and Radiation in a Square Enclosure", Numerical Heat Transfer, Part A, Vol. 15, pp.261-278.
5. Fusegi, T. and Farouk, B., 1989, "Laminar and Turbulent Natural Convection-Radiation Interac-

tion in a Square Enclosure Filled with a Nongray Gas", Numerical Heat Transfer, Part A, Vol.15, pp.302~322.

6. Siegel, R., Howell, J.R., 1981, Thermal Radiation Heat Transfer , McGraw-Hill, 2nd edition.

Combined Radiation and Natural Convection Heat Transfer in an Enclosure with a Constant Heat Flux at the Rottom

Kwon, Sun-Sok · Kwon, Yong-II

Dept. of Mechanical Engineering Dong-A University

ABSTRACT

This investigation is carried out numerically for the two dimensional natural convection and surface radiation heat transfer in a square enclosure. The bottom wall is a constant heat flux at hot temperature and also top wall is isothermal at cold temperatures whereas the left and right side walls are adiabatic except a transparent window on the right side partially.

The exchange of radiant energy is obtained by the net radiation method and the shape factor by the crossed string method.

The change in temperature and Nusselt number distributions of the walls due to the effect of the wall emissivity for various emissivities and for various dimensionless insolation energies are investigated. The dimensionless local convective heat flux and local radiative heat flux distributions in the wall except an adiabatic wall are also compared.

A Study on Pressure Drop Through The Porous Metal.

Su-cheol Ohu

In-Ha University Dept. of Mechanical Engineering

ABSTRACT

This study has been conducted to provide fundamental knowledge of the characteristics of pressure drop through porous metal by experimental investigation.

Pressure drop of air passing through porous metal was measured. The influences of porosity and flow velocity on pressure drop were investigated and in view of friction factor, the experimental data was compared with theoretical equation as known to Ergun's equation concerning unconsolid packed bed.

The result of this study are as follows. The pressure drop was increased with increasing the